

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-189658

(43)Date of publication of application : 04.07.2003

(51)Int.Cl.

H02P 5/00

B62D 5/04

G05B 13/02

G05D 3/12

(21)Application number : 2001-378107

(71)Applicant : YASKAWA ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 12.12.2001

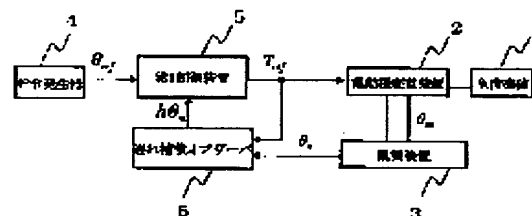
(72)Inventor : KAKU SOKI  
OGURO RYUICHI

## (54) LEAKAGE COMPENSATING MOTOR CONTROLLER

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a leakage compensation motor controller which can make a motor present position  $\theta_m$  respond at a high speed even if a motor delay position  $\theta_n$ , which is a past value of the motor present position, is inputted to an observer.

**SOLUTION:** There are provided a monitor 3 which monitors a state of a motor drive 2 and provides a motor delay position  $\theta_n$  delayed from a motor present position  $\theta_m$ , a delay compensating observer 6 which provides an estimated motor present position  $h\theta_m$  according to the motor delay position  $\theta_n$  and a torque command  $T_{ref}$ , and a first controller 5 which provides the torque command  $T_{ref}$  according to a command  $\theta_{ref}$  and the estimated motor present position  $h\theta_m$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.11.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-189658

(P2003-189658A)

(43) 公開日 平成15年7月4日 (2003.7.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	フォーマット* (参考)
H 0 2 P 5/00		H 0 2 P 5/00	X 3 D 0 3 3
B 6 2 D 5/04		B 6 2 D 5/04	5 H 0 0 4
G 0 5 B 13/02		G 0 5 B 13/02	C 5 H 3 0 3
G 0 5 D 3/12	3 0 5	G 0 5 D 3/12	3 0 5 V 5 H 5 5 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2001-378107(P2001-378107)

(22) 出願日 平成13年12月12日 (2001. 12. 12)

(71) 出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

(72) 発明者 郭 双暉

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

株式会社安川電機内

(72) 発明者 小黑 龍一

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

株式会社安川電機内

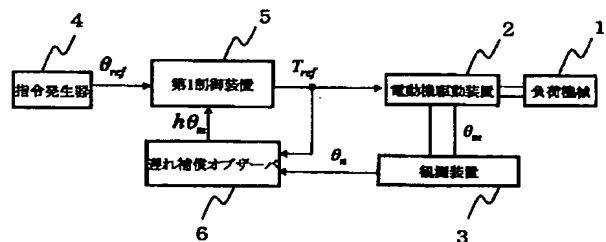
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 遅れ補償電動機制御装置

(57) 【要約】

【課題】 オブザーバへの入力が、電動機現在位置  $\theta_m$  の過去の値である電動機遅れ位置  $\theta_n$  である場合において、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる遅れ補償電動機制御装置を提供する。

【解決手段】 電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  を提供する遅れ補償オブザーバ 6 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 1 制御装置 5 とを備えた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 を備え、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  を提供する遅れ補償オブザーバ 6 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 1 制御装置 5 とを備えたことを特徴とする遅れ補償電動機制御装置。

【請求項 2】 指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 を備え、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とを提供する遅れ補償オブザーバ 8 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 2 制御装置 7 とを備えたことを特徴とする遅れ補償電動機制御装置。

【請求項 3】 指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 を備え、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在速度  $h\omega_m$  とを提供する遅れ補償オブザーバ 10 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h\omega_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 3 制御装置 9 とを備えたことを特徴とする遅れ補償電動機制御装置。

【請求項 4】 指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 を備え、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$

$f$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とを提供する遅れ補償オブザーバ 12 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と前記推定電動機現在外乱  $h d$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 4 制御装置 11 とを備えたことを特徴とする遅れ補償電動機制御装置。

【請求項 5】 指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 を備え、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  と推定電動機遅れ位置  $h\theta_n$  とを提供する遅れ補償オブザーバ 14 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と前記推定電動機現在外乱  $h d$  と前記推定電動機遅れ位置  $h\theta_n$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 5 制御装置 13 とを備えたことを特徴とする遅れ補償電動機制御装置。

【請求項 6】 観測装置 3 が、電動機駆動装置 2 の状況を観測し、電動機現在位置  $\theta_m$  を提供する実観測器 3a と、前記電動機現在位置  $\theta_m$  に基づいて、電動機位置無線信号  $\theta_o$  を無線で発信する無線信号発信器 3b、前記電動機位置無線信号  $\theta_o$  を無線で受け取り、遅れ補償オブザーバに電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する無線信号受信器 3c とを備えたことを特徴とする請求項 1～5 のうちのいずれか 1 項に記載の遅れ補償電動機制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば、工作機械におけるテーブルやロボットのアームのような負荷機械を駆動する電動機（直流電動機、誘導電動機、同期電動機、リニアモータなど）の制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 電動機制御装置の従来例を図 7 に基づいて説明する。図 7 は電動機制御装置の構成例を示している。図 7 において、1 は負荷機械、2 は電動機駆動装置、4 は指令発生器、20 は実観測器、21 は制御装置、22 はオブザーバである。図 7 において、指令発生器 4 は指令  $\theta_{ref}$  を生成し、制御装置 21 に提供する。負荷機械 1 は負荷となるテーブルや動力を伝達する減速機構など含むものである。実観測器 20 はエンコーダやリニアスケールのような位置センサであり、電動機現在位置  $\theta_m$  を測定するものである。電動機駆動装置 2 は、PWM のような電力変換回路や電動機など含むものであり、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて適切な電力を生

成し、電動機を駆動し、よって負荷機械 1 を駆動させるものである。オブザーバ 22 は、トルク指令  $T_{ref}$  と電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいて、次のように、推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と推定 \*

$$h\theta_m(k+1) = h\theta_m(k) + Ts * h\omega_m(k) + 0.5 * Ts * Ts * T_{ref}(k) / J_m + 0.5 * Ts * Ts * h_d(k) + L1 * (\theta_m(k) - h\theta_m(k)) \quad (1)$$

$$h\omega_m(k+1) = h\omega_m(k) + Ts * T_{ref}(k) / J_m + Ts * h_d(k) + L2 * (\theta_m(k) - h\theta_m(k)) \quad ($$

2)

$$h_d(k+1) = h_d(k) + L3 * (\theta_m(k) - h\theta_m(k)) \quad ($$

3)

制御装置 21 は、指令  $\theta_{ref}$  と推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と推定電動機現在外乱  $h_d$  に基づいて、次のように、トルク指令  $T_{ref}$  を生※

$$T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (4)$$

$$T_v(k) = k_v * (T_p(k) - h\omega_m(k)) \quad ($$

5)

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_v(k) \quad (6)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) + h_d(k) \quad (7)$$

以上により、推定電動機現在位置  $h\theta_m$  を、指令  $\theta_{ref}$  に一致させる事により、電動機現在位置  $\theta_m$  を指令  $\theta_{ref}$  に一致させていた。オブザーバ 22 の導入によって、実観測器 20 から得られた電動機現在位置  $\theta_m$  に含まれているノイズなど悪影響を抑え、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  を高く設定することができた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述従来技術で、実観測器 20 は電動機現在位置  $\theta_m$  を測定し、電動機現在位置  $\theta_m$  をオブザーバ 22 に入力しているものと仮定している。ところで、実観測器 20 とオブザーバ 22 との通信構成により、オブザーバ 22 に入力しているのは電動機現在位置  $\theta_m$  の過去の値である電動機遅れ位置  $\theta_n$  である場合がある。その場合、電動機遅れ位置  $\theta_n$  と電動機現在位置  $\theta_m$  との時間遅れにより、オブザーバ 22 が正確に動作しないことがある。よって、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  を高く設定することができなくなり、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができなくなるという問題があった。従って、この発明の目的は、オブザーバ 22 に入力しているのは電動機現在位置  $\theta_m$  の過去の値である電動機遅れ位置  $\theta_n$  である場合において、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる遅れ補償電動機制御装置を提供することである。

【0004】

【課題を解決するための手段】第 1 の発明の遅れ補償電動機制御装置は、指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 と、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta$

\* 電動機現在外乱  $h_d$  を生成するものである。ただし、 $T_s$  は制御時間、 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$  はオブザーバゲイン、 $(k)$  はサンプル時刻、 $J_m$  は負荷機械 1 と電動機駆動装置 2 との等価イナーシャである。

※成する。ただし、 $k_p$  は位置制御ゲイン、 $k_v$  は速度制御ゲイン、 $k_i$  は積分制御ゲイン、 $T_p$  は速度指令、 $T_v$  はトルク比例指令、 $T_i$  はトルク積分指令である。

$m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  を提供する遅れ補償オブザーバ 6 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 1 制御装置 5 とを備えたことを特徴とするものである。第 1 の発明の遅れ補償電動機制御装置によれば、観測装置 3 に存在している時間遅れを考慮して遅れ補償オブザーバ 6 を構築することにより、 $h\theta_m$  が  $\theta_m$  を正確に推定させることができるので、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  を高く設定することができ、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる。

【0005】第 2 の発明の遅れ補償電動機制御装置は、指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器 4 と、負荷機械 1 と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械 1 を駆動する電動機駆動装置 2 と、前記電動機駆動装置 2 の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置 2 の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置 3 と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h_d$  とを提供する遅れ補償オブザーバ 8 と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h_d$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第 2 制御装置 7 とを備えたことを特徴とするものである。第 2 の発明の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、推定電動機現在外乱  $h_d$  を第 2 制御装置 7 に補償することで、外乱に対する制御系の応答特性を向上することとなり、負荷機械 1 や電動機駆動装置 2 など外乱が存在する場合も、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる。

【0006】第3の発明の遅れ補償電動機制御装置は、指令 $\theta_{ref}$ を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令 $T_{ref}$ に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置 $\theta_m$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動機現在位置 $\theta_m$ より遅れた電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置 $\theta_n$ と前記トルク指令 $T_{ref}$ とに基づいて推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と推定電動機現在速度 $h\omega_m$ とを提供する遅れ補償オブザーバ10と、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する第3制御装置9とを備えたことを特徴とするものである。第3の発明の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、推定電動機現在速度 $h\omega_m$ を利用してフィードバックすることにより、(13)式の差分演算による速度信号の時間遅れを無くすことができるので、第3制御装置9をより連続系に近い制御系となり、制御ゲイン $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$ をさらに高く設定することができ、電動機現在位置 $\theta_m$ をより高速に応答させることができる。

【0007】第4の発明の遅れ補償電動機制御装置は、指令 $\theta_{ref}$ を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令 $T_{ref}$ に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置 $\theta_m$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動機現在位置 $\theta_m$ より遅れた電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置 $\theta_n$ と前記トルク指令 $T_{ref}$ とに基づいて推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と推定電動機現在外乱 $h d$ とを提供する遅れ補償オブザーバ12と、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と前記推定電動機現在外乱 $h d$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する第4制御装置11とを備えたことを特徴とするものである。第4の発明の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、推定電動機現在外乱 $h d$ を第2制御装置7に補償することで、外乱に対する制御系の応答特性を向上することとなり、負荷機械1や電動機駆動装置2などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置 $\theta_m$ をより高速、より正確に応答させることができる。

【0008】第5の発明の遅れ補償電動機制御装置は、指令 $\theta_{ref}$ を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令 $T_{ref}$ に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置 $\theta_m$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する遅れ補償電動機制御装置において、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動機現在位置 $\theta_m$ より遅れた電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する観測装置3と、前記電動機

遅れ位置 $\theta_n$ と前記トルク指令 $T_{ref}$ とに基づいて推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と推定電動機現在外乱 $h d$ と推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とを提供する遅れ補償オブザーバ14と、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と前記推定電動機現在外乱 $h d$ と前記推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する第5制御装置13とを備えたことを特徴とするものである。第5の発明の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と前記推定電動機現在外乱 $h d$ と前記推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とに基づいて第5制御装置13を構成することにより、第5制御装置13が全次元フィードバック制御系となり、制御ゲインをより容易に設計できる。よって、オーバーシュートを生じない応答特性を容易に得られる。また、正確な制御ゲイン設定で、制御系のロバスト性を向上することとなり、負荷機械1や電動機駆動装置2などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置 $\theta_m$ をより高速、より正確に応答させることができる。

【0009】第6の発明の遅れ補償電動機制御装置は、観測装置3が、電動機駆動装置2の状況を観測し、電動機現在位置 $\theta_m$ を提供する実観測器3aと、前記電動機現在位置 $\theta_m$ に基づいて、電動機位置無線信号 $\theta_o$ を無線で発信する無線信号発信器3bと、前記電動機位置無線信号 $\theta_o$ を無線で受け取り、遅れ補償オブザーバに電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する無線信号受信器3cとを備えたことを特徴とするものである。第6の発明の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、電動機の位置情報を無線で転送することによって、観測装置からオブザーバまでの配線を無くすことができるので、電動機駆動装置2と負荷機械1とを遠距離で制御する際に、配線のコストを削減することができる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施形態について説明する。図1は本発明の第1の実施形態を示すブロック線図である。図1に示すように、遅れ補償電動機制御装置は、指令 $\theta_{ref}$ を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令 $T_{ref}$ に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置 $\theta_m$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する遅れ補償電動機制御装置であって、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動機現在位置 $\theta_m$ より遅れた電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置 $\theta_n$ と前記トルク指令 $T_{ref}$ とに基づいて推定電動機現在位置 $h\theta_m$ を提供する遅れ補償オブザーバ6と、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する第1制御装置5とから構成されている。まず観測装置3は、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動

機現在位置  $\theta_m$  より 1 制御周期遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する。すなわち、

$$\theta_n(k) = \theta_m(k-1) \quad (8)$$

遅れ補償オブザーバ6は、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて、次のように、推定電動機現在位置  $h\theta_m$  を提供する。ただし、 $L1 \sim L4$  は遅れ補償オブザーバ6の観測ゲインであり、遅れ補償※

※オブザーバ6が安定となるように設計されたものである。

【0011】

$$h\theta_n(k+1) = h\theta_m(k) + L1 * (\theta_n(k) - h\theta_n(k)) \quad (9)$$

$$h\theta_m(k+1) = h\theta_m(k) + Ts * h\omega_m(k) + 0.5 * Ts * Ts * T_{ref}(k) / J_m + 0.5 * Ts * Ts * h d(k) + L2 * (\theta_n(k) - h\theta_n(k)) \quad (10)$$

$$h\omega_m(k+1) = h\omega_m(k) + Ts * T_{ref}(k) / J_m + Ts * h d(k) + L3 * (\theta_n(k) - h\theta_n(k)) \quad (11)$$

$$h d(k+1) = h d(k) + L4 * (\theta_n(k) - h\theta_n(k)) \quad (12)$$

第1制御装置5は、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  とに基づいて、次のように、トルク指令  $T_{ref}$  を提供する。ただし、 $k_p$  は位置制御ゲイン、★  $k_v$  は速度制御ゲイン、 $k_i$  は積分制御ゲイン、 $T_p$  は速度指令、 $T_v$  はトルク比例指令、 $T_i$  はトルク積分指令、 $d\omega_m$  は差分速度である。

$$d\omega_m(k) = h\theta_m(k) - h\theta_m(k-1) \quad (13)$$

$$T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (14)$$

$$T_v(k) = k_v * (T_p(k) - d\omega_m(k)) \quad (15)$$

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_v(k) \quad (16)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) \quad (17)$$

【0012】この実施の形態によれば、観測装置3に存在している時間遅れを考慮して遅れ補償オブザーバ6を構築することにより、 $h\theta_m$  が  $\theta_m$  を正確に推定させることができるので、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  を高く☆

☆設定することができ、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる。なお、第1制御装置5を、次のように構成することもよい。

$$T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (18)$$

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_p(k) \quad (19)$$

$$T_v(k) = k_v * (T_p(k) - d\omega_m(k)) \quad (20)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) \quad (21)$$

第1制御装置5を、次のように構成することもよい。

$$T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (22)$$

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (23)$$

$$T_v(k) = -k_v * d\omega_m(k) \quad (24)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_p(k) + T_i(k) \quad (25)$$

【0013】以下、本発明の第2の実施形態について説明する。図2は本発明の第2の実施形態を示すブロック線図である。図2に示すように、遅れ補償電動機制御装置は、指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置であって、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて

◆て推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とを提供する遅れ補償オブザーバ8と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第2制御装置7とから構成されている。遅れ補償オブザーバ8は、前記(9)～(12)式のように構成されたものであればよい。第2制御装置7は、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とに基づいて、次のように、トルク指令  $T_{ref}$  を提供する。

【0014】

$$d\omega_m(k) = h\theta_m(k) - h\theta_m(k-1) \quad (26)$$

$$\begin{aligned}
 & T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h \theta_m(k)) \\
 & T_v(k) = k_v * (T_p(k) - d \omega_m(k)) \\
 & T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_v(k) \\
 & T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) + h d(k)
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

この実施の形態によれば、上述第1の実施の形態の作用と効果があるとともに、更に、推定電動機現在外乱  $h d$  を第2制御装置7に補償することで、外乱に対する制御系の応答特性を向上することとなり、負荷機械1や電動機駆動装置2などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる。

【0015】以下、本発明の第3の実施形態について説明する。図3は本発明の第3の実施形態を示すブロック線図である。図3に示すように、遅れ補償電動機制御装置は、指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置であって、電動機駆動装

※置2の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h \theta_m$  と推定電動機現在速度  $h \omega_m$  とを提供する遅れ補償オブザーバ10と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h \theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h \omega_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第3制御装置9とから構成されている。遅れ補償オブザーバ10は、前記(9)～(12)式のように構成されたものであればよい。第3制御装置9は、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h \theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h \omega_m$  とに基づいて、次のように、トルク指令  $T_{ref}$  を提供する。

$$\begin{aligned}
 & T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h \theta_m(k)) \\
 & T_v(k) = k_v * (T_p(k) - h \omega_m(k)) \\
 & T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_v(k) \\
 & T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k)
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

【0017】この実施の形態によれば、上述第1の実施の形態の作用と効果があるとともに、更に、推定電動機現在速度  $h \omega_m$  を利用してフィードバックすることにより、(13)式の差分演算による速度信号の時間遅れを無くすることができるので、第3制御装置9をより連続系に近い制御系となり、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  をさらに高く設定することができ、電動機現在位置  $\theta_m$  をより高速に応答させることができる。

【0018】以下、本発明の第4の実施形態について説明する。図4は本発明の第4の実施形態を示すブロック線図である。図4に示すように、遅れ補償電動機制御装置は、指令  $\theta_{ref}$  を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令  $T_{ref}$  に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置  $\theta_m$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する遅れ補償電動機制御装置であって、電動機駆動装

※置2の状態を観測し、その電動機現在位置  $\theta_m$  より遅れた電動機遅れ位置  $\theta_n$  を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置  $\theta_n$  と前記トルク指令  $T_{ref}$  とに基づいて推定電動機現在位置  $h \theta_m$  と推定電動機現在速度  $h \omega_m$  と推定電動機現在外乱  $h d$  とを提供する遅れ補償オブザーバ12と、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h \theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h \omega_m$  と前記推定電動機現在外乱  $h d$  とに基づいてトルク指令  $T_{ref}$  を提供する第4制御装置11とから構成されている。遅れ補償オブザーバ12は、前記(9)～(12)式のように構成されたものであればよい。

【0019】第4制御装置11は、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h \theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h \omega_m$  と前記推定電動機現在外乱  $h d$  とに基づいて、次のように、トルク指令  $T_{ref}$  を提供する。

$$\begin{aligned}
 & T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h \theta_m(k)) \\
 & T_v(k) = k_v * (T_p(k) - h \omega_m(k)) \\
 & T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_v(k) \\
 & T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) + h d(k)
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

【0020】この実施の形態によれば、上述第3の実施の形態の作用と効果があるとともに、更に、推定電動機現在外乱  $h d$  を第2制御装置7に補償することで、外乱に対する制御系の応答特性を向上することとなり、負荷

機械1や電動機駆動装置2などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置  $\theta_m$  をより高速、より正確に応答させることができる。なお、第4制御装置11を、次のように構成することもよい。

【0021】

$$T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (39)$$

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * T_p(k) \quad (40)$$

$$T_v(k) = k_v * (T_p(k) - h\omega_m(k)) \quad (41)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) + h d(k) \quad (42)$$

また、第4制御装置11を、次のように構成することもよい。

$$T_p(k) = k_p * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (43)$$

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * (\theta_{ref}(k) - h\theta_m(k)) \quad (44)$$

$$T_v(k) = -k_v * h\omega_m(k) \quad (45)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_p(k) + h d(k) \quad (46)$$

【0022】以下、本発明の第5の実施形態について説明する。図5は本発明の第5の実施形態を示すブロック線図である。図5に示すように、遅れ補償電動機制御装置は、指令 $\theta_{ref}$ を提供する指令発生器4と、負荷機械1と、トルク指令 $T_{ref}$ に基づいて負荷機械1を駆動する電動機駆動装置2と、前記電動機駆動装置2の電動機現在位置 $\theta_m$ に基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する遅れ補償電動機制御装置であって、電動機駆動装置2の状態を観測し、その電動機現在位置 $\theta_m$ より遅れた電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する観測装置3と、前記電動機遅れ位置 $\theta_n$ と前記トルク指令 $T_{ref}$ とに基づいて推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と推定電動機現在外乱 $h d$ と推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とを提供する遅れ補償オブザーバ14と、前記指令 $\theta$  \*

\* $_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と前記推定電動機現在外乱 $h d$ と前記推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とに基づいてトルク指令 $T_{ref}$ を提供する第5制御装置13とから構成されている。遅れ補償オブザーバ14は、前記(9)～(12)式のように構成されたものであればよい。第5制御装置13は、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と前記推定電動機現在外乱 $h d$ と前記推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とに基づいて、次のように、トルク指令 $T_{ref}$ を提供する。ただし、 $k_{pn}$ は第1位置制御ゲイン、 $k_{pm}$ は第2位置制御ゲインである。

【0023】

$$T_p(k) = k_{pn} * (\theta_{ref}(k) - h\theta_n(k)) - k_{pm} * h\theta_m \quad (47)$$

$$T_v(k) = -k_v * h\omega_m(k) \quad (48)$$

$$T_i(k) = T_i(k-1) + k_i * (\theta_{ref}(k) - h\theta_n(k)) \quad (49)$$

$$T_{ref}(k) = T_v(k) + T_i(k) + h d(k) + T_p(k) \quad (50)$$

【0024】この実施の形態によれば、上述第4の実施の形態の作用と効果があるとともに、更に、前記指令 $\theta_{ref}$ と前記推定電動機現在位置 $h\theta_m$ と前記推定電動機現在速度 $h\omega_m$ と前記推定電動機現在外乱 $h d$ と前記推定電動機遅れ位置 $h\theta_n$ とに基づいて第5制御装置13を構成することにより、第5制御装置13が全次元フィードバック制御系となり、制御ゲインをより容易に設計できる。よって、オーバーシュートを生じない応答特性を容易に得られる。また、正確な制御ゲイン設定で、制御系のロバスト性を向上することとなり、負荷機械1や電動機駆動装置2などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置 $\theta_m$ をより高速、より正確に応答させることができる。

【0025】以下、本発明の第6の実施形態について説明する。図6は本発明の第6の実施形態を示すブロック線図である。図6に示すように、上述遅れ補償電動機制

御装置において、観測装置3が、電動機駆動装置2の状況を観測し、電動機現在位置 $\theta_m$ を提供する実観測器3aと、前記電動機現在位置 $\theta_m$ に基づいて、電動機位置無線信号 $\theta_o$ を無線で発信する無線信号発信器3b、前記電動機位置無線信号 $\theta_o$ を無線で受け取り、遅れ補償オブザーバに電動機遅れ位置 $\theta_n$ を提供する無線信号受信器3cとから構成されている。実観測器3aは、公知技術を利用すれば容易に構成されるものであり、エンコーダやリニアスケールのようなもので電動機現在位置 $\theta_m$ を観測し、カウンタのようなデジタル処理装置で処理し、電動機現在位置 $\theta_m$ を提供する。無線信号発信器3bは、公知技術を利用すれば容易に構成されるものであり、入力されている電動機現在位置 $\theta_m$ を $1/2$ 制御周期 $T_s/2$ 後に発信する。すなわち、無線で発信されている電動機位置無線信号 $\theta_o$ は、電動機現在位置 $\theta_m$ より $1/2$ 制御周期 $T_s/2$ の時間遅れが存在している。



無線信号受信器 3c は、公知技術を利用すれば容易に構成されるものであり、電動機位置無線信号  $\theta_o$  を無線で受け取り、 $1/2$  制御周期  $T_s/2$  後にオブザーバに入\*

$$\theta_n(k) = \theta_m(k+1)$$

51)

となる。この実施の形態によれば、上述実施の形態の作用と効果があるとともに、更に、電動機の位置情報を無線で転送することによって、観測装置からオブザーバまでの配線を無くすことができるので、電動機駆動装置 2 と負荷機械 1 とを遠距離で制御する際に、配線のコストを削減することができる。

#### 【0026】

【発明の効果】請求項 1 記載の遅れ補償電動機制御装置によれば、観測装置 3 に存在している時間遅れを考慮して遅れ補償オブザーバ 6 を構築することにより、 $h\theta_m$  が  $\theta_m$  を正確に推定させることができるので、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  を高く設定することができ、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる。請求項 2 記載の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、推定電動機現在外乱  $h_d$  を第 2 制御装置 7 に補償すること  
20 で、外乱に対する制御系の応答特性を向上することとなり、負荷機械 1 や電動機駆動装置 2 などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置  $\theta_m$  を高速に応答させることができる。請求項 3 記載の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、推定電動機現在速度  $h\omega_m$  を利用してフィードバックすることにより、(13) 式の差分演算による速度信号の時間遅れを無くすことができるので、第 3 制御装置 9 をより連続系に近い制御系となり、制御ゲイン  $k_p$ 、 $k_v$ 、 $k_i$  をさらに高く設定することができ、電動機現在位置  $\theta_m$  をより高速に応答させることができ  
30 る。請求項 4 記載の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、推定電動機現在外乱  $h_d$  を第 2 制御装置 7 に補償することで、外乱に対する制御系の応答特性を向上することとなり、負荷機械 1 や電動機駆動装置 2 などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置  $\theta_m$  をより高速、より正確に応答させることができる。請求項 5 記載の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、前記指令  $\theta_{ref}$  と前記推定電動機現在位置  $h\theta_m$  と前記推定電動機現在速度  $h\omega_m$  と前記推定電動機現在外乱  $h_d$  と前記推定電動機遅れ位置  $h\theta_n$  とに基づいて第 5 制御装置 13 を構成することにより、第 5 制御装置 13 が全次元フィードバック制御系となり、制御ゲインをより容易に設計できる。よって、オーバーシュートを生じない応答特性を容易に得られる。また、正確な制御ゲイン設定で、制御系のロバスト性を向上することとなり、負荷機械 1 や電動機駆動装置 2 などに外乱が存在する場合も、電動機現在位置  $\theta_m$  をより高速、より正確に応答させることができ

\* 力する。すなわち、オブザーバに入力されている電動機遅れ位置  $\theta_n$  は、電動機位置無線信号  $\theta_o$  より  $1/2$  制御周期  $T_s/2$  の時間遅れが存在している。従って、  
(

る。請求項 6 記載の遅れ補償電動機制御装置によれば、更に、電動機の位置情報を無線で転送することによって、観測装置からオブザーバまでの配線を無くすことができるので、電動機駆動装置 2 と負荷機械 1 とを遠距離で制御する際に、配線のコストを削減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の第 1 の実施の形態の遅れ補償電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

【図 2】この発明の第 2 の実施の形態の遅れ補償電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

【図 3】この発明の第 3 の実施の形態の遅れ補償電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

【図 4】この発明の第 4 の実施の形態の遅れ補償電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

【図 5】この発明の第 5 の実施の形態の遅れ補償電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

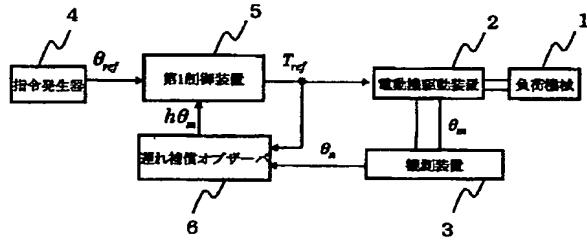
【図 6】この発明の第 6 の実施の形態の遅れ補償電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

【図 7】従来の電動機制御装置の構成を示すブロック線図である。

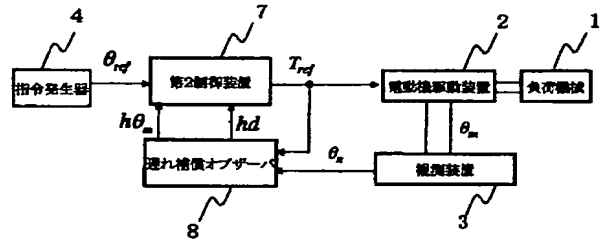
#### 【符号の説明】

- 1 負荷機械 1
- 2 電動機駆動装置 2
- 3 観測装置 3
- 3a 実観測器 3a
- 3b 無線信号発信器 3b
- 3c 無線信号受信器 3c
- 4 指令発生器 4
- 5 第 1 制御装置 5
- 6 遅れ補償オブザーバ 6
- 7 第 2 制御装置 5
- 8 遅れ補償オブザーバ 8
- 9 第 3 制御装置 5
- 10 遅れ補償オブザーバ 10
- 11 第 4 制御装置 5
- 12 遅れ補償オブザーバ 12
- 13 第 5 制御装置 5
- 14 遅れ補償オブザーバ 14
- 20 実観測器 20
- 21 制御装置 21
- 22 オブザーバ

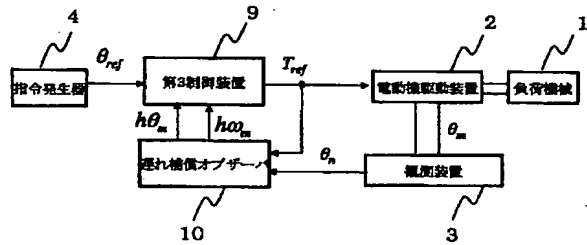
【図1】



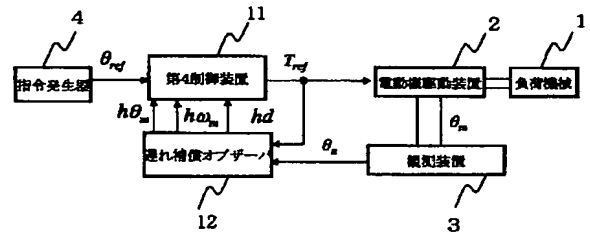
【図2】



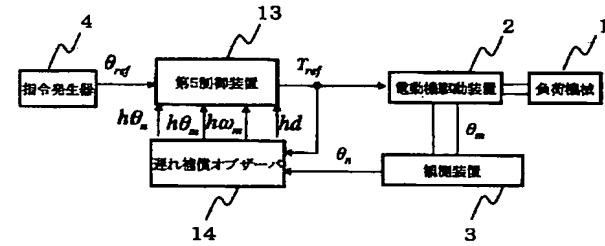
【図3】



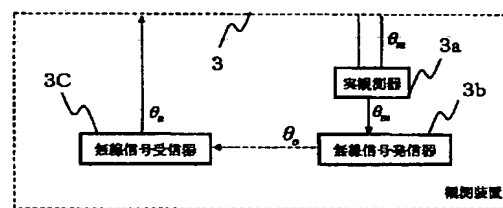
【図4】



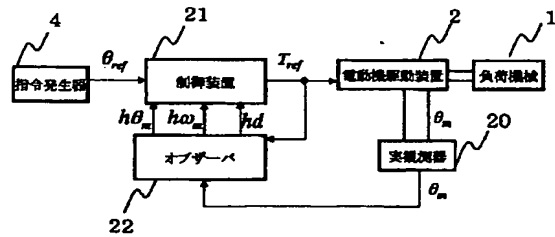
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3D033 CA11 CA20  
5H004 GA03 GA07 GA10 GA34 GB15  
GB16 HA07 HB07 JB21 JB22  
KA72 KB02 KB04 KB39 MA55  
5H303 AA01 CC05 CC06 DD01 FF06  
KK02 KK03 KK11 MM05  
5H550 AA18 BB08 DD03 DD04 DD06  
GG01 GG06 HB16 JJ02 JJ04  
KK04 LL07 LL22 LL34